

自然災害が救急駆け付け搬送の救命率に与える影響分析

-長野市居住誘導区域の設定を対象とした検証-

柳沢吉保*1・轟 直希*2・腰原 萌*3・古本吉倫*4・浅野純一郎*5・高山純一*6

Impact Analysis of Disasters Contribute to Life-Saving Rates on Emergency Transport System - Residence Induction Area of Nagano Urban City -

YANAGISAWA Yoshiyasu, TODOROKI Naoki, KOSHIHARA Moe,
FURUMOTO Yoshinori, ASANO Jun-ichirou and TAKAYAMA Jun-ichi

In this paper, Impact analysis of disasters contribute to life-saving rates on emergency transport System. We examine the life-saving rates considering the driving distance of fire stations and emergency hospital. We propose the life-saving potential indicator of the driving conveying time of the urgent medical institution of an ambulance. In this paper, the above framework is applied to residence induction area of Nagano Urban City. In the experimental study, we verified location of fire stations and first-aid station affects a limit time to life-saving. We confirmed residence induction area responsible of emergency car based on life-saving potential.

キーワード：自然災害，救急駆け付け搬送，救命可能性，長野市立地適正化計画，防災指針

1. まえがき

1-1 本研究の背景と目的

コンパクト+ネットワークの形成を目指した立地適正化計画が、近年の自然災害の激甚化に対応するため、本計画の改正で盛り込まれた防災指針の観点から都市機能および居住誘導区域の設定は大きな課題である。自然災害が都市機能に与える影響は多岐にわたるが、自然災害による道路の被災は、救命活動にも大きな影響を与える。区域設定や消防署・分署や後方病院(以下、救命拠点用途と記載する)の立地位置の評価分析には、道路の寸断が駆け付け搬送時間に与える影響を分析しておく必要がある。

本研究では長野市の交通ネットワークを対象に、「被災前」、「地震被災時」、「浸水被災時」、「土砂災害時」における、駆け付け搬送時間、救命率について

評価指標を提示して明らかにする。

また、集約型都市構造の形成で考慮しなければならない居住誘導区域内外の駆け付け搬送時間、救命率の差についても明らかにし、立地適正化計画の枠組みで自然災害時が救急駆け付け搬送の救命率に及ぼす影響を明らかにする。

一般的に考慮する最大救命率の他にも、被災地に対して複数の消防署から駆け付けと、病院への搬送も考慮した場合の救命率の評価も行う。

1-2 既往研究と本研究の枠組み

三室ら¹⁾の研究では、災害後の状況変化に対応した交通網復旧プロセスを検討できる方法論を開発し、被災者の「生活の質」(QOL)を評価するシステムの構築を行っている。原田ら²⁾の研究では被災地へのアクセシビリティと利用できる経路数から接続性と脆弱性を総合的に評価している。さらに、原田ら³⁾の研究ではこの方法を拡張し、重複を避けつつ複数経路の走行時間が最小となるような経路を数え上げる方法で評価を行っている。戸倉ら⁴⁾の研究では、道路交通の連結信頼性を考慮したモデルの構築を行い、連結性の向上が道路の移動便益に与える影響を評価している。しかし、これらの研究では、立

*1 工学科都市デザイン系教授

*2 工学科都市デザイン系准教授

*3 東日本高速道路株式会社

*4 工学科都市デザイン系教授

*5 豊橋技術科学大学教授

*6 公立小松大学教授

原稿受付 2023年5月19日

地適正化計画の枠組みである居住誘導区域内外の被災地が救急駆け付け搬送体制に与える影響は分析されていない。

以上を考慮し本研究では、長野市を対象に自然災害発生による道路ネットワーク被災時の救急駆け付け搬送救命率を居住誘導区域内外で評価し、誘導区域の設定が救命駆け付け搬送に与える影響を評価分析する。

具体的には、①自然災害(地震災害、土砂災害、浸水災害)による長野市の交通ネットワークの被災リンクを特定する。②消防署・分署、被災地(小ゾーン)、後方病院の位置と交通ネットワークのセントロイド番号を対応づける。③シミュレーションにより長野市における被災前および各自然災害における駆け付け搬送時間の算出を行う。④災害別駆け付け搬送時間に基づき被災地の救命可能率を算定する。⑤長野市の居住誘導区域内外における被災前・自然災害時の救急駆け付け搬送の救命可能率を比較し、コンパクト+ネットワークの枠組みで救急駆け付け搬送を評価する。

2. 分析対象地域および駆け付け搬送体制

分析対象地域は、長野市とする。図1に示したとおり、水色部分が長野市と長野市の小ゾーンである。また、青線で示したのが長野市のネットワークである。ピンク色で囲っている地域が長野市の居住誘導区域である。図1より、居住誘導区域にネットワークが集中していることがわかる。

図2に長野市の消防署・分署、後方病院の配置図¹⁾を示す。支所の境界線は白い線で表されている。また、本研究では被災地を各小ゾーンの支所の位置とした。各支所に近接して消防署・分署が配置されているが、後方病院は市街地を対象とした居住誘導区域に立地していることがわかる。

対象とする自然災害は、防災都市づくり計画および防災指針で対象としている地震災害、土砂災害、浸水災害とする。

使用データは以下の表1に示す。

救急駆け付け搬送体制は、救急車両が配備されている各消防署・分署から救急車が出発して、救急要請先の被災地に駆けつけて重症者を後方病院へ搬送する。本研究では重症程度に重傷者に絞って被災後の駆け付け搬送時間による救命の可能性を検証する。ここでは、建物の倒壊をはじめさまざまな被災で重傷者が生起することが想定される。

本研究で対象とする支所26ヶ所、後方病院8ヶ所、消防署・分署16ヶ所を表2、表3および表4に示す。

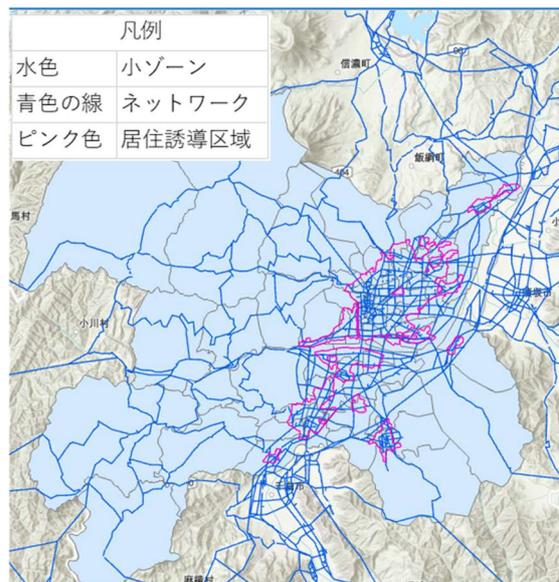


図1 長野市の交通ネットワークと小ゾーンおよび居住誘導区域

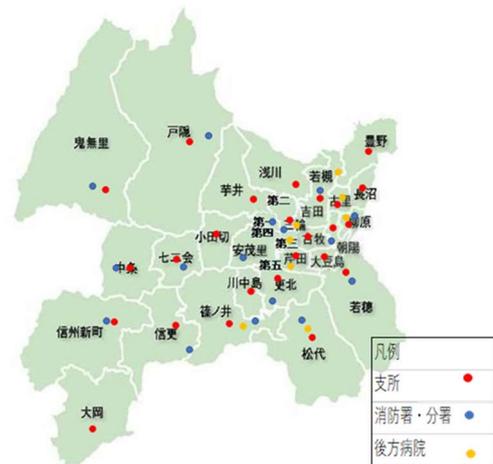


図2 支所、消防署・分署、後方病院の位置関係

表1 使用データ

長野都市圏ネットワーク図(H28)．長野都市圏 OD 表(H28)．長野市 C ゾーン(R3)．長野市居住誘導区域図(H29)．土砂災害警戒区域データ(R2)．洪水浸水想定区域データ(R2)．
--

表2 対象の支所

居住誘導区域 (15 化ヶ所)
安茂里, 吉田, 古里, 古牧, 芹田, 大豆島, 松代, 浅川, 若槻, 朝陽, 柳原, 篠ノ井, 更北, 川中島, 豊野
居住誘導区域外 (11 ヶ所)
小田切, 大岡, 鬼無里, 長沼, 芋井, 信更, 若徳, 信州新町, 七二会, 中条, 戸隠

表3 対象の消防署・分署

消防署・分署 (16 ヶ所)
中央消防署, 安茂里分署, 七二会分署, 飯綱分署, 鬼無里分署, 鶴賀消防署, 若槻分署, 柳原分署, 東部分署, 篠ノ井消防署, 更北分署, 塩崎分署, 松代分署, 若徳分署, 新町消防署, 小川出張所

表 4 対象の後方病院

後方病院
長野赤十字病院, 篠ノ井総合病院, 松代総合病院, 長野市民病院, 東長野病院, 長野県立リハビリテーションセンター, 長野中央病院, 朝日ながの病院

本研究における重症者とは、カーラーの救命曲線に基づき多量出血，呼吸停止，心肺停止の三つの症状を対象とした。このカーラーの救命曲線に沿って救命率を算出する。

3. 救命可能性評価指標

3-1 最大救命率

本指標は、福田ら⁵⁾の既往研究を用い、駆けつけ搬送の最短時間に基づきカーラーの救命曲線を用いて最大救命率を以下の式(1)から算出する。ここで定義している最大救命率とは、各被災地に対して複数の駆けつけ搬送の組み合わせの中から最も高い救命率を担保する消防署・分署から後方病院の組み合わせの救命率を意味している。カーラーの救命曲線を用いることで症状ごとの救命率を把握することができる。

$$L_k^{max}(d) = 1 - \left(\frac{1}{1 + \exp(4.80861 - a_s t_{ij}^{k, \min}(d))} \right) \quad (1)$$

ここで、 $L_k^{max}(d)$ ：最大救命率。k：対象となる被災地（支所）。d：災害の種類。i：対象となる消防署・分署。j：対象となる後方病院。 $t_{i,j}^{k, \min}(d)$ ：災害dにおける被災地kの駆けつけ搬送最短所要時間。 a_s ：症状別定数（心肺停止：1.6029。呼吸停止：0.4809。多量出血）0.1603。

3-2 可能救命度

当該救命率を駆けつけ搬送時間からカーラー救命曲線に基づき救命率を求める。各被災地に対する消防署・分署と後方病院の組み合わせを図式化したものを図3に示す。被災地kの駆けつけ搬送が可能な可能救命率 $L_k^{max}(d)$ は、被災地の人口が多くなるほど一人当たりの救命率は低下することと、複数の救命拠点から駆けつけ搬送が可能であれば救命率が増加することを考慮し、以下の式(2)により算出する。被災地kに複数の消防署・分署からの駆けつけ、および後方病院への搬送が可能な場合がある。被災地kに駆けつけ搬送が可能な消防署・分署iおよび後方病院の車両数を n_i とおく。なお、同一の消防署・分署に複数台の救急車両が配置されている場合は、その数も考慮する。

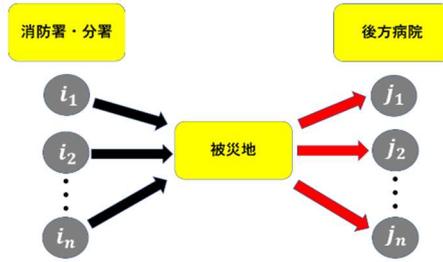


図 3 駆け付け搬送パターンの組み合わせ

$$L_k^p(d) = \sum_{i=1}^I n_i \sum_{j=1}^J \left\{ 1 - \left(\frac{1}{1 + \exp(4.80861 - a_s t_{ij}^k(d))} \right) \right\} \quad (2)$$

ここで、 $L_k^p(d)$ ：可能救命度。k：対象となる被災地（支所）。d：災害の種類。i：対象となる消防署・分署。j：対象となる後方病院。 n_i ：駆けつけ可能な車両数。 $t_{ij}^k(d)$ ：所要時間。 a_s ：症状別定数（心肺停止：1.6029。呼吸停止：0.4809。多量出血：0.1603。

3-3 駆け付け搬送時の算定フロー

本稿では各評価指標算出に至るまでの手順の概要を示す。本研究では自然災害による道路の寸断が駆けつけ搬送時間に与える影響を分析するためにゾーン間所要時間をOD交通量および交通ネットワークの各災害の被災リンクから算出した。また、算定結果を用いて消防署一支所-後方病院の駆けつけ搬送時間の所要時間を算出した。その駆けつけ搬送時間に基づき各評価指標を算出し、GISを用いて評価指標値分布を可視化した。また、救急車両の走行速度については正確な速度が明記されていないため、交通量および一般車両との違いが明確ではない。そのため本研究では救急車両と一般車両との区別は行わないとする。

4. 被災地の救命可能性評価

4-1 土砂災害および浸水災害区域分布⁶⁾

長野市のネットワーク（青線）、居住誘導区域（ピンク色で囲った地域）および土砂災害地域（黄色の地域）を図4に示す。土砂災害区域は居住誘導区域西側で一部重なっていることがわかる。また、土砂災害によって236本のリンクが寸断されることが分かった。

浸水災害区域（緑の地域）を図5に示す。居住誘導区域は河川流域に近接しているため、浸水災害区域と重なる小ゾーンは多数存在する。そのため、浸水災害によって773本のリンクが切断されること

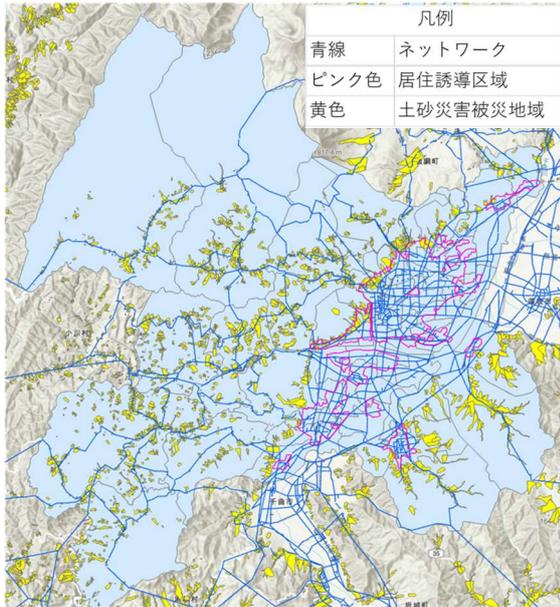


図4 長野市の道路ネットワークおよび居住誘導区域と土砂災害地域

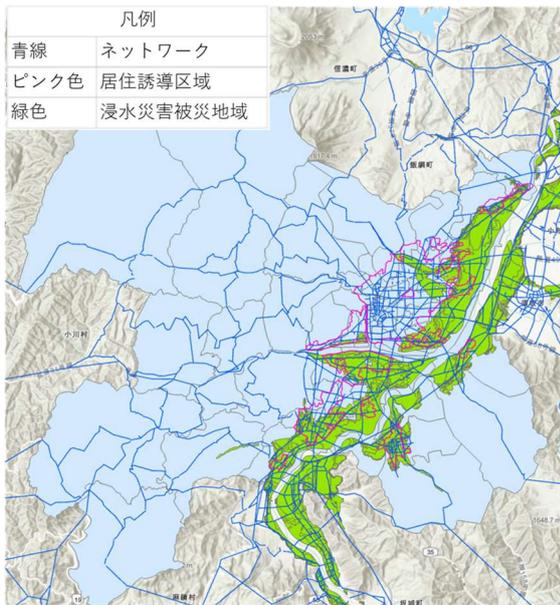


図5 長野市のネットワークおよび居住誘導区域と浸水災害地域

がわかった。

4-2 土砂災害前後の救命可能性評価

図6に被災前と土砂災害後の経路選択の様子を示す。赤く示された線が太いほど交通量が多く選択されたリンクである。最も選択されている経路は国道18号線である。これは、土砂災害によって寸断されるリンクが中心市街地外を中心として広がっており、中心市街地の経路選択にはあまり影響がないからであると考えられる。

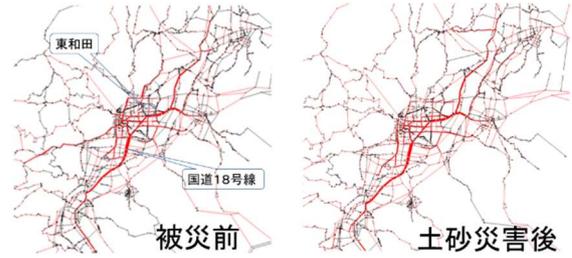


図6 被災前(左)と土砂災害後(右)の長野市の経路選択によるリンク交通量

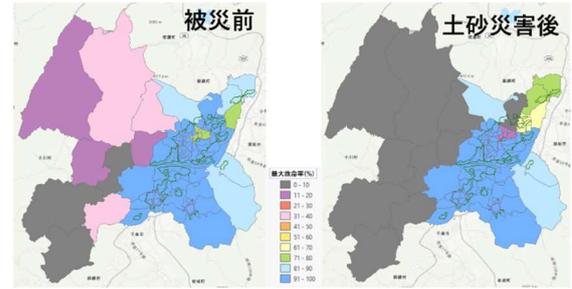


図7 土砂災害後の多量出血時の最大救命率

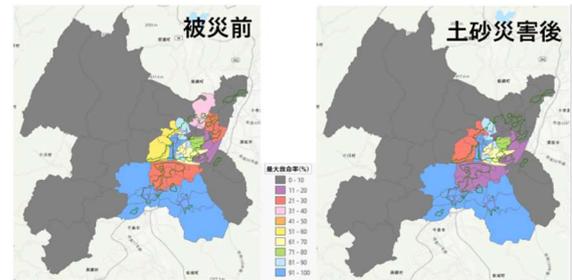


図8 土砂災害後の呼吸停止時の最大救命率

図7より、多量出血時の平均最大救命率は居住誘導区域内では83%、居住誘導区域外では14%となった。被災前の平均最大救命率と比較すると居住誘導区域内では11%、居住誘導区域外では15%低下した。

居住誘導区域内では松代、篠ノ井、芹田、古牧、長野駅中心等は被災前と比べても大きな変化は見られなく、居住誘導区域内の被災地はどの場所でも一定の最大救命率を確保している。しかし、居住誘導区域内の若槻では居住誘導区域内で唯一最大救命率0%を示している。

居住誘導区域外では若穂、長沼以外の全ての被災地で最大救命率0%を示している。また長沼では地震被災後において最大救命率0%だったのに対し土砂災害後では64%となり地震被災後と比較し変化がうかがえる。

図8より、呼吸停止時の平均最大救命率は居住誘導区域内で43%、居住誘導区域外で0%となった。被災前の平均最大救命率と比較すると居住誘導区域内では6%、居住誘導区域外では被災前の時点で0%

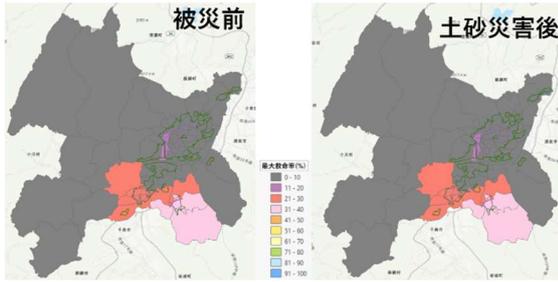


図9 土砂災害後の心肺停止時の最大救命率

のため変動なしということが分かる。

居住誘導区域内では松代、篠ノ井、古牧、芹田、長野駅周辺において被災前と比較し変動が見られにくい。居住誘導区域内で被災前と土砂災害後を比較し最大救命率が特に低下している被災地は安茂里、若槻となっている。

一方居住誘導区域外では若穂以外の全ての被災地で最大救命率 0%を示している。被災前の時点で最大救命率が 0%の被災地が 11 カ所中 10 カ所存在するため、土砂被災後と比較しても変動が見られにくい。

図9より、心肺停止時の平均最大救命率は居住誘導区域内で4%、居住誘導区域外で0%となった。被災前と比較して平均最大救命率は居住誘導区域内では居住誘導区域外でも変動がみられなかった。これは被災前と地震被災後の心肺停止における平均最大救命率の場合も同じ結果が出た。心肺停止のカーラーの救命曲線に基づいた救命率 50%以上を担保する時間が3分以内となっていることから被災前の時点で居住誘導区域外の 11 カ所中すべての被災地が最大救命率 0%ということからこのような結果が考えられる。また居住誘導区域内では被災前の時点で最大救命率が高い松代、篠ノ井等で地震被災後と比較して最大救命率の変動が小さいことからこのような結果が見られる。

4-3 浸水災害前後の救命可能性評価

図10に被災前と地震被災後の経路選択の様子を示す。赤く示された線が太いほど交通量が多く選択されたリンクである。地震被災後、土砂災害後の経路選択とは全く異なった経路選択がされている。主に経路選択されているのは中心市街地外である。これは、千曲川が市街地周辺を流れており、浸水によって市街地周辺のリンクが寸断され、交通量が市街地外へと流入していくことが理由としてあげられる。

図11より、多量出血時の平均最大救命率は居住誘導区域内では36%、居住誘導区域外では0%となっ



図10 被災前(左)と浸水災害後(右)の長野市の経路選択によるリンク交通量

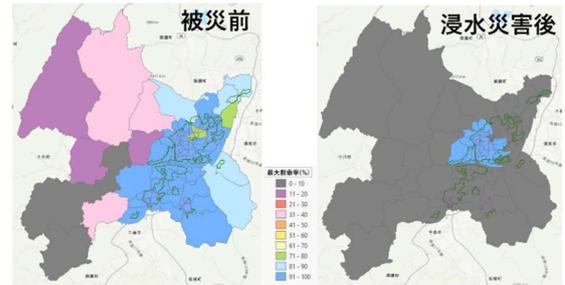


図11 浸水災害後の多量出血時の最大救命率

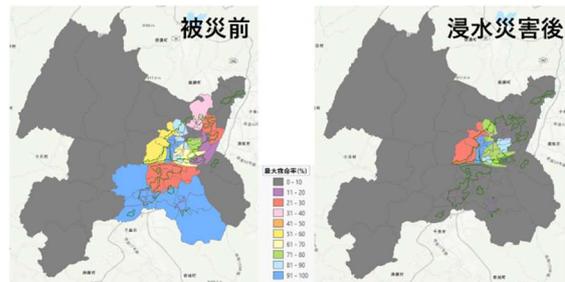


図12 浸水災害後の呼吸停止時の最大救命率

た。被災前の平均最大救命率と比較すると居住誘導区域内では58%、居住誘導区域外では29%低下した。被災前と地震被災後、被災前と土砂災害後の変動と比較しても最も浸水災害後の最大救命率の低下が激しい。

居住誘導区域内は19カ所中11カ所で0%を示している。また居住誘導区域内では古牧、芹田、安茂里、長野駅周辺では最大救命率95%以上を担保している。

居住誘導区域外では11カ所中11カ所すべてで最大救命率0%を示している。

図12により、呼吸停止時の平均最大救命率は居住誘導区域内で28%、居住誘導区域外で0%となった。被災前の平均最大救命率と比較すると居住誘導区域内では22%、居住誘導区域外では被災前の時点で0%のため変動なしということが分かる。居住誘導区域内では松代、篠ノ井、更北で特に最大救命率は大きく低下した。

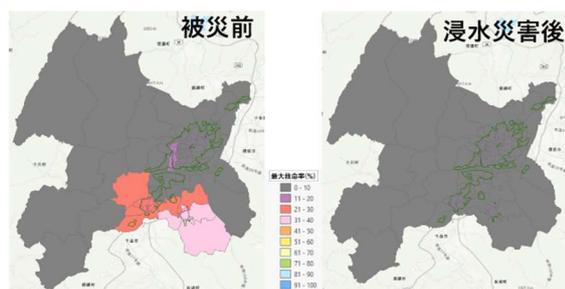


図 13 浸水災害後の心肺停止時の最大救命率

一方居住誘導区域外では被災前の時点で最大救命率が0%の被災地が11カ所中10カ所存在するため、地震被災後と比較しても変動が見られにくい。居住誘導区域外の被災地で11カ所中11カ所すべての被災地で最大救命率0%を示している。

図13より、心肺停止時の平均最大救命率は居住誘導区域内で1%、居住誘導区域外で0%となった。被災前と比較して平均最大救命率は居住誘導区域内で3%低下した。居住誘導区域外では変動がみられなかった。心肺停止のカーラーの救命曲線に基づいた救命率50%以上を担保する時間が3分以内となっていることから被災前の時点で居住誘導区域外の11カ所中すべての被災地が最大救命率0%ということからこのような結果が考えられる。

居住誘導区域内では南長野以外のすべての被災地で最大救命率0%を示している。また居住誘導区域外では被災地11カ所すべてで最大救命率0%を示している。

5. 結論

(1) 被災前と土砂災害後の比較

①多量出血を対象とした最大救命率は被災前と比較すると居住誘導区域内では11%、居住誘導区域外では15%低下した。居住誘導区域内では松代、篠ノ井、芹田、古牧、長野駅中心等は被災前と比べても大きな変化は見られなく、居住誘導区域内の被災地はどの場所でも一定の最大救命率を確保している。しかし、居住誘導区域内の若槻では居住誘導区域内で唯一最大救命率0%を示している。居住誘導区域外では若穂、長沼以外の全ての被災地で最大救命率0%を示している。また長沼では地震被災後において最大救命率0%だったのに対し土砂災害後では64%となり地震被災後と比較し変化がうかがえる。

②呼吸停止を対象とした最大救命率は被災前と比較すると居住誘導区域内では6%、居住誘導区域外では被災前の時点で0%のため変動なしということが

分かる。居住誘導区域内では松代、篠ノ井、古牧、芹田、長野駅周辺において被災前と比較し変動が見られにくい。居住誘導区域内で被災前と土砂災害後と比較し最大救命率が特に低下している被災地は安茂里、若槻となっている。一方居住誘導区域外では若穂以外の全ての被災地で最大救命率0%を示している。被災前の時点で最大救命率が0%の被災地が11カ所中10カ所存在するため、土砂被災後と比較しても変動が見られにくい。

③心肺停止を対象とした最大救命率は被災前と比較すると居住誘導区域内でも居住誘導区域外でも変動がみられなかった。これは被災前と地震被災後の心肺停止における平均最大救命率の場合も同じ結果が出た。心肺停止のカーラーの救命曲線に基づいた救命率50%以上を担保する時間が3分以内となっていることから被災前の時点で居住誘導区域外の11カ所中すべての被災地が最大救命率0%ということからこのような結果が考えられる。また居住誘導区域内では被災前の時点で最大救命率が高い松代、篠ノ井等で地震被災後と比較して最大救命率の変動が小さいことからこのような結果が見られる。

(2) 被災前と浸水災害後の比較

①多量出血を対象とした最大救命率は被災前と比較すると居住誘導区域内では58%、居住誘導区域外では29%低下した。被災前と地震被災後、被災前と土砂災害後の変動と比較しても最も浸水災害後の最大救命率の低下が激しい。居住誘導区域内は19カ所中11カ所で0%を示している。また居住誘導区域内では古牧、芹田、安茂里、長野駅周辺では最大救命率95%以上を担保している。居住誘導区域外では11カ所中11カ所すべてで最大救命率0%を示している。

②呼吸停止を対象とした最大救命率は被災前と比較すると居住誘導区域内では22%減少、居住誘導区域外では被災前の時点で0%のため変動なしということが分かる。居住誘導区域内では松代、篠ノ井、更北で特に最大救命率は大きく低下した。一方居住誘導区域外では被災前の時点で最大救命率が0%の被災地が11カ所中10カ所存在するため、地震被災後と比較しても変動が見られにくい。居住誘導区域外の被災地で11カ所中11カ所すべての被災地で最大救命率0%を示している

③心肺停止を対象とした最大救命率は被災前と比較すると居住誘導区域内で3%低下した。居住誘導区域外では変動がみられなかった。心肺停止のカーラーの救命曲線に基づいた救命率50%以上を担保する時間が3分以内となっていることから被災前の時

点で居住誘導区域外の 11 カ所中すべての被災地が最大救命率 0%ということからこのような結果が考えられる。居住誘導区域内では南長野以外のすべての被災地で最大救命率 0%を示している。また居住誘導区域外では被災地 11 カ所すべてで最大救命率 0%を示している。

参 考 文 献

- 1) 三室, 戸川, 加藤, 林, 西野, 高野: QOL 指標による地震災害に伴う道路交通網寸断の影響評価～モンテカルロシミュレーションを用いて～. 土木計画学研究・講演集, 2011.11
- 2) 原田, 倉内, 高木: 道路ネットワークの接続脆弱性に基づくリダンダンシーの経済価値の計量化手法の検討. 土木計画学研究・講演集, 2012.5
- 3) 原田, 倉内, 高木: リダンダンシーを考慮したアクセシビリティに基づく道路ネットワークの接続脆弱性評価. 土木学会論文集 D3 70 巻 1 号 p. 76-87, 2014
- 4) 土倉, 中山, 高山: 時間信頼性と連結信頼性に基づく道路ネットワーク評価法の開発. 土木計画学研究・講演集, 2012.11
- 5) 福田, 高山, 中山: 三次救急搬送活動を対象とした医療デジタル伝送システム運用のためのアンテナ基地局配置方策の検討, 土木計画学研究・講演集, No.39, 講演番号 88
- 6) 柳沢 吉保, 轟 直希, 窪田愛夢瑠, 古本吉倫, 浅野純一郎, 高山 純一: 自然災害が救急駆け付け搬送の救命可能率に及ぼす影響 - 長野市居住誘導区域の設定を対象とした検証 -. 長野工業高等専門学校紀要, (56), 1-12, (2022.6.30)